

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-105833  
 (43)Date of publication of application : 22.04.1997

(51)Int.Cl. G02B 6/293  
 H04J 14/00  
 H04J 14/02  
 H04B 10/02

(21)Application number : 08-223821 (71)Applicant : AT & T CORP  
 (22)Date of filing : 26.08.1996 (72)Inventor : COHEN LEONARD G  
 LI YUAN P

## (30)Priority

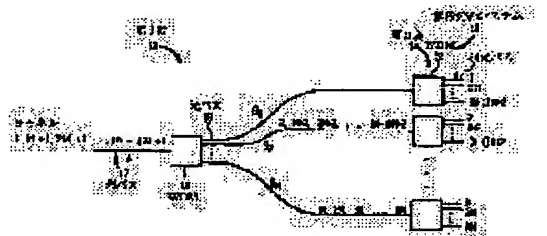
Priority number : 95 525938 Priority date : 08.09.1995 Priority country : US

## (54) COMB-SHAPED DIVIDING SYSTEM FOR LIGHT SIGNAL

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To embody a comb-shaped dividing system for light signals which is inexpensive, is free from crosstalks and is hardly affected by a temp. fluctuation.

SOLUTION: This comb-shaped dividing system has at least two stages of continuous WDMs connected to each other. The WDMs of the first stage are interconnected to light paths. The light paths are, for example, optical fibers, waveguides or other light signal carriers and transmit the multichannel light signals having various wavelengths in plural channels. The first stage WDMs communicate the bands of the channels to the respective WDMs of the second stage through the suitable light paths. The respective bands have the plural channels separated by at least one separate channels. The respective second stage WDMs are allocated to the specific bands and are interconnected to the light paths. The respective light paths transmit  $\geq 1$  channels. The pass band of the first stage WDMs is narrower than the pass band of the second stage WDMs.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 08.09.1998  
 [Date of sending the examiner's decision of rejection] 21.08.2001  
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
 [Date of final disposal for application]  
 [Patent number]  
 [Date of registration]  
 [Number of appeal against examiner's decision of 2001-19765]

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 9 - 1 0 5 8 3 3

(43) 公開日 平成 9 年 (1997) 4 月 22 日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B	6/293		G 0 2 B	6/28 B
H 0 4 J	14/00		H 0 4 B	9/00 E
	14/02			U
H 0 4 B	10/02			

審査請求 未請求 請求項の数 3 4

O L

(全 1 0 頁)

(21) 出願番号 特願平 8 - 223821

(22) 出願日 平成 8 年 (1996) 8 月 26 日

(31) 優先権主張番号 525938

(32) 優先日 1995 年 9 月 8 日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 390035493

エイ・ティ・アンド・ティ・コーポレーション

A T & T C O R P .

アメリカ合衆国 10013 - 2412 ニューヨ

ーク ニューヨーク アヴェニュー オブ

ジ アメリカズ 32

(72) 発明者 レオナルド ジー・コーエン

アメリカ合衆国, 30350 ジョージア, ノ

ース フルトン カウンティー, アトラン

タ

(74) 代理人 弁理士 三俣 弘文

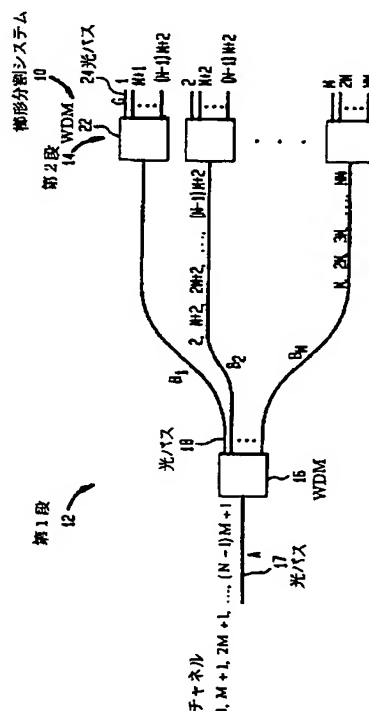
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光信号の櫛形分割システム

(57) 【要約】

【課題】 安価で、クロストークが少なく、温度ゆらぎの影響を受けにくい、光信号の櫛形分割システムを実現する。

【解決手段】 本発明の櫛形分割システムは、少なくとも二つの相互接続された連続する WDM の段を有する。第 1 段の WDM は光バスと相互接続される。光バスは、例えば、光ファイバ、導波路、またはその他の光信号キャリアであり、複数のチャネルをさまざまな波長に有するマルチチャネル光信号を伝送する。第 1 段 WDM は、適当な光バスを通じて、チャネルの帯域をそれぞれの第 2 段の WDM に通信する。各帯域は、少なくとも一つの別のチャネルによって分離された複数のチャネルを有する。各第 2 段 WDM は、特定の帯域に割り当てられ、光バスに相互接続される。その各光バスは一つ以上のチャネルを伝送する。第 1 段 WDM の通過帯域は第 2 段 WDM の通過帯域より狭い。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光信号を、相異なる波長の複数のチャンネルに分離化する櫛形分割システムにおいて、

前記複数のチャンネルを有する光信号を受信し、第 1 通過帯域を利用して、それぞれ少なくとも一つの他のチャンネルによって分離された複数のチャンネルを有する複数の帯域に分離化する第 1 段 WDM と、

前記第 1 通過帯域より広い第 2 通過帯域により、それぞれ前記帯域から個々のチャンネルを分離化する複数の第 2 段 WDM とからなることを特徴とする櫛形分割システム。

【請求項 2】 NM 個のチャンネルおよび M 個の第 2 段 WDM があり、I 番目の第 2 段 WDM は NM 個のチャンネルのうちのチャンネル I およびチャンネル (M + 1) を受信し分離化することを特徴とする請求項 1 のシステム。

【請求項 3】 第 1 段 WDM および第 2 段 WDM を単一の集積回路上に設けたことを特徴とする請求項 1 のシステム。

【請求項 4】 第 1 段 WDM および第 2 段 WDM は、光ファイバネットワークのノードにおいてローカルに接続された個別の電子素子内にあることを特徴とする請求項 1 のシステム。

【請求項 5】 第 1 段 WDM および第 2 段 WDM は、分散ネットワークを形成するようにファイバケーブルによって相互接続された光ファイバネットワークの異なるノードに分離されて存在することを特徴とする請求項 1 のシステム。

【請求項 6】 第 1 段 WDM および第 2 段 WDM のうちの少なくとも一つは導波路グレーディングルータからなることを特徴とする請求項 1 のシステム。

【請求項 7】 第 1 段 WDM から第 2 段 WDM へ前記帯域を転送する光ファイバをさらに有することを特徴とする請求項 1 のシステム。

【請求項 8】 第 1 段 WDM から第 2 段 WDM へ前記帯域を転送する導波路をさらに有することを特徴とする請求項 1 のシステム。

【請求項 9】 前記チャンネルは周波数スペクトルに沿ってほぼ等間隔に配置されることを特徴とする請求項 1 のシステム。

【請求項 10】 前記光信号上に多重化される複数のパワーチャンネルを分離化するパワースプリッタを各 WDM ごとにさらに有することを特徴とする請求項 1 のシステム。

【請求項 11】 第 1 段 WDM および第 2 段 WDM のうちの少なくとも一つはフーリエフィルタからなることを特徴とする請求項 2 のシステム。

【請求項 12】 相異なる波長の複数のチャンネルを光信号に多重化する櫛形分割システムにおいて、

第 1 通過帯域で前記チャンネルを多重化することにより、それぞれ少なくとも一つの他のチャンネルによって分離さ

れた複数のチャンネルを有する帯域を生成する複数の第 1 段 WDM と、

前記第 1 通過帯域より狭い第 2 通過帯域を利用して前記帯域を多重化することにより、相異なる波長の複数のチャンネルを有する光信号を生成する第 2 段 WDM とからなることを特徴とする櫛形分割システム。

【請求項 13】 NM 個のチャンネルおよび N 個の第 2 段 WDM があり、I 番目の第 2 段 WDM は NM 個のチャンネルのうちのチャンネル I およびチャンネル (M + 1) を多重化することを特徴とする請求項 12 のシステム。

【請求項 14】 第 1 段 WDM および第 2 段 WDM は受動素子であることを特徴とする請求項 12 のシステム。

【請求項 15】 第 1 段 WDM および第 2 段 WDM のうちの少なくとも一つは導波路グレーディングルータからなることを特徴とする請求項 12 のシステム。

【請求項 16】 第 1 段 WDM から第 2 段 WDM へ前記帯域を転送する光ファイバをさらに有することを特徴とする請求項 12 のシステム。

【請求項 17】 第 2 段 WDM から第 1 段 WDM へ前記帯域を転送する導波路をさらに有することを特徴とする請求項 12 のシステム。

【請求項 18】 前記チャンネルは周波数スペクトルに沿ってほぼ等間隔に配置されることを特徴とする請求項 12 のシステム。

【請求項 19】 前記光信号上に多重化される複数のパワーチャンネルを多重化するパワースプリッタを各 WDM ごとにさらに有することを特徴とする請求項 12 のシステム。

【請求項 20】 第 1 段 WDM および第 2 段 WDM のうちの少なくとも一つはフーリエフィルタからなることを特徴とする請求項 12 のシステム。

【請求項 21】 N は 2 であり M は 2 であることを特徴とする請求項 13 のシステム。

【請求項 22】 N は 4 であり M は 8 であることを特徴とする請求項 13 のシステム。

【請求項 23】 それぞれの波長に複数のチャンネルを有する光信号を個々のチャンネルに分離化する櫛形分割システムにおいて、

NM 個のチャンネルを有する光信号を受信し NM 個のチャンネルを M 個の帯域に分離化する WDM からなる第 1 段と、

I 番目の WDM においてチャンネル I およびチャンネル (M + 1) を有する帯域を受信し当該帯域から個々のチャンネルを分離化する M 個の WDM を有する第 2 段とからなり、

第 2 段の M 個の WDM がチャンネルを分離化するための通過帯域は、第 1 段の WDM の通過帯域より広いことを特徴とする櫛形分割システム。

【請求項 24】 第 1 段および第 2 段は受動ネットワークであることを特徴とする請求項 23 のシステム。

【請求項25】 第1段および第2段の各WDMは導波路グレーディングルータからなることを特徴とする請求項23のシステム。

【請求項26】 第1段から第2段へ前記帯域を転送する光ファイバをさらに有することを特徴とする請求項23のシステム。

【請求項27】 第1段から第2段へ前記帯域を転送する導波路をさらに有することを特徴とする請求項23のシステム。

【請求項28】 前記チャネルは周波数スペクトルに沿ってほぼ等間隔に配置されることを特徴とする請求項23のシステム。

【請求項29】 各WDMはフーリエフィルタからなり、MおよびNはいずれも2に等しいことを特徴とする請求項23のシステム。

【請求項30】 前記光信号上に多重化される複数のパワーチャネルを分離化するパワースプリッタを各WDMごとにさらに有することを特徴とする請求項23のシステム。

【請求項31】 Nは2でありMは2であることを特徴とする請求項23のシステム。

【請求項32】 Nは4でありMは8であることを特徴とする請求項23のシステム。

【請求項33】 光信号を、それぞれの波長の複数のチャネルに分離化する櫛形分割方法において、前記複数のチャネルを有する光信号を受信するステップと、

第1WDMにおいて第1通過帯域を利用して、それぞれ少なくとも一つの他のチャネルによって分離された複数のチャネルを有する複数の帯域に分離化するステップと、

第2WDMにおいて前記第1通過帯域より広い第2通過帯域により、各帯域から個々のチャネルを分離化するステップとからなることを特徴とする櫛形分割方法。

【請求項34】 それぞれの波長の複数のチャネルを光信号に多重化する櫛形分割方法において、前記複数のチャネルを受信するステップと、

第1WDMにおいて第1通過帯域を利用して前記チャネルを多重化することにより、それぞれ少なくとも一つの他のチャネルによって分離された複数のチャネルを有する帯域を生成するステップと、

第2WDMにおいて前記第1通過帯域より狭い第2通過帯域を利用して前記帯域を多重化することにより光信号を生成するステップとからなることを特徴とする櫛形分割方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光ファイバ通信ネットワークに関し、特に、複数の波長における複数のチャネルを有する光信号を多重化・分離化するマルチチャ

ネル光ファイバ通信システムのための櫛形分割システムおよび方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 最近の研究開発は、中央局から各住居単位（例えば加入者の家庭）までおよび住居単位から中央局まで情報を通信するための光通信ネットワークを実現することに集中している。いくつかのネットワークアプローチが可能であり、例えば、以下で説明するように、ポイントツーポイントネットワーク、パワー分割ネットワーク、あるいは、波長分割多重ネットワークなどがある。

【0003】 ポイントツーポイントネットワークでは、一つ以上の光ファイバが中央局と各住居単位を直接連結する。このアプローチはおそらく最も直接的かつ単純なものである。しかし、明らかに、非常に小さいネットワークでさえ、この解決法には経済的に不利な数の相互接続、光ファイバ、溝、送信機、および受信機を必要とする。

【0004】 パワー分割ネットワークでは、送信機、受信機、および加入者ループの光ファイバの一部がパワースプリッタを用いて多くの住居単位によって共有され、そのさまざまなものが当業者に周知である。例えば、米国特許第4,904,042号にはスターカブラが記載されており、これは代表的なパワースプリッタ（Power splitter）である。ある意味では、パワースプリッタは、各住居単位が各信号を受信するように各信号を複数のファイバに同報する。このネットワークアーキテクチャは単純かつ低コストであるが、パワー分割による大きいパワー損失、タイムシェアリングによる小さい帯域幅、同報分配による加入者プライバシー保護の悪さ、および、個々の加入者線を十分に診断および試験することができないという点で診断試験能力の低さという欠点がある。

【0005】 波長分割多重ネットワークは波長分割マルチプレクサ（WDM(wave divisionmultiplexer)）を使用する。このネットワークでは、特定のチャネル（キャリアの波長）が各住居単位に割り当てられる。さらに、WDMを利用して、複数のチャネルが単一の光ファイバ上で多重化され、各住居単位に対応するファイバに分離化され、中央局と各住居単位との間の仮想的なポイントツーポイント接続が実現される。WDM（フィルタあるいはルータともいう）は当業者に周知であり、一般的には、光信号波長を多重化・分離化することが可能な装置である。一般に、WDMは通常は受動光ネットワーク（PON(passive optical network)）すなわち複数の光パス（光路）を有するデバイスであり、各光パスが、電気信号処理フィルタのように特定の通過帯域を有するものである。この通過帯域は、それぞれの光パスに一つまたは複数の特定の波長のみを通過させ、他はほとんど排除する。こうして、WDMは、マルチチャネル光信号

から波長（すなわちチャンネル）を分割すること、あるいは、一つの光パス上の一つのマルチチャンネル光信号に複数の光パスの波長（すなわちチャンネル）を結合することにために用いることができる。WDMの例は、C. Dragone et al., "Integrated Optics NxN Multiplexer on Silicon", IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 3, p. 896 (1989)、および、米国特許第5, 136, 671号に記載されている。

【0006】WDMネットワークは、原理的に、パワー分割ネットワークよりもパワー損失が少なく、さらに、各住居単位がそれぞれのチャンネルのみを受信するという点でプライバシー保護を提供する。WDMネットワークはパワー分割ネットワークに比べて技術的に優れた解決法を提供するが、WDMネットワークは従来高価な構成要素（すなわち、WDMおよび波長整合された送信器および受信器）を必要とする。しかし、安価な主要構成要素の最近の開発により、WDMネットワークは有効なアプローチとなってきた。これらの主要構成要素の例としては、C. Dragone et al., "Integrated Optics NxN Multiplexer on Silicon", IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 3, p. 896 (1989)（および米国特許第5, 136, 671号）に記載されている導波路グレーディングルータ（WGR(waveguide grading router)）や、米国特許出願第08/365, 618号（発明者：Y. P. Li, et al.、出願日：1994年12月28日）に記載されているフーリエ変換ベースの導波路フィルタ（FF）のような、集積WDMがある。

【0007】実用的なWDMネットワークは、以下の理由により、チャンネルの単一段分割よりも2段階分割のほうが有利である。一方では、WDMネットワークは、分割数が多いときに経済的となる。しかし、分割比が大き（例えば1×32）性能の良いWGRを製造するのは高価になる。他方では、一般に、代表的なアクセスネットワークでは少なくとも二つの自然なスプライス（接続）ノードがある。多数のファイバを収容した単一のファイバケーブルが、中央局から、約3 km離れたサービスエリアの中心付近のリモートノード（RN(remote node) 1）まで走る。これらのファイバは小グループに分割され、各グループはもう一つのノードすなわちベデスタル（RN2）まで走る。一般にベデスタルは4～16の住居単位にサービスする。リモートノード（RN1）およびベデスタル（RN2）は既存の地点にWDMを設置するためのものである。分割比を増大させるために2段階のWDMを設置することにより、ファイバ数およびシステムコストを削減することができる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】帯域分割多段WDMネットワークでは、第1段は粗い分割を行い、後続段は細かい分割を行う。この方式では、後続段のWDMは大規模となるが、チャンネル間隔が小さいために製造は高価と

なる。もう一つの欠点は、すべてのチャンネルに対して低損失を維持するために、後続段のWDMは、鋭いドロップオフを有しながらほぼ平坦な通過帯域を有する必要があることである。さらに、後続段WDMの通過帯域は中央局の送信器および受信器と整合しなければならないが、これは困難である。その理由は、後続段WDMは異なる場所に設置され、伝送スペクトルの温度シフトも異なる（例えば、通常は約0.012 nm/℃）ためである。

【0009】従って、これまで解決されていない問題として、必要に応じて2段に実装可能であるとともに上記の問題点および欠点のない、多段WDMネットワークを使用して複数の光信号チャンネルをそれぞれの波長で多重化および分離化するシステムおよび方法が必要とされている。

【0010】

【課題を解決するための手段】簡潔に述べれば、本発明は、多段WDMネットワークを実装するための櫛形分割システムおよび方法を提供する。この櫛形分割システムおよび方法は、分離化モードでは、複数の多重化されたチャンネルをさまざまな波長に有する光信号を複数の個別のチャンネルに分離化するとともに、多重化モードでは、さまざまな波長における複数のチャンネルを単一の光信号に多重化するために利用することができる。

【0011】構造的には、本発明の櫛形分割システムは、少なくとも二つの相互接続された連続するWDMの段を有する。本発明のシステムを2段の場合について説明するが、理解されるように、3段以上を実装することも可能である。第1段のWDMは光パスと相互接続される。光パスは、例えば、光ファイバ、導波路、またはその他の光信号キャリアであり、複数のチャンネルをさまざまな波長に有するマルチチャンネル光信号を伝送する。第1段WDMは、適当な光パスを通じて、チャンネルの帯域をそれぞれの第2段のWDMに通信する。各帯域は、少なくとも一つの別のチャンネルによって分離された複数のチャンネルを有する。各第2段WDMは、特定の帯域に割り当てられ、光パスに相互接続される。その各光パスは一つ以上のチャンネルを伝送する。さらに、本発明の重要な特徴によれば、第1段WDMの通過帯域は第2段WDMの通過帯域より狭い。

【0012】第1段および第2段のWDMは、単一の集積回路、例えば、特定用途向け光集積回路（OASIC(optical application specific integrated circuit)）上に設けることが可能である。それらのWDMは、光ファイバネットワークのノードにおいてローカルに接続される個別の電子素子内に設けることも可能である。さらに、それらのWDMは、リモートに分離することができる。例えば、それらのWDMは、光ファイバネットワークの異なるノードに配置され、分散ネットワークを形成するようにファイバケーブルを通じて相互接続され

ることが可能である。

【0013】本発明の櫛形分割システムの動作は以下の通りである。多重化モードでの櫛形分割システムの動作は、逆順であることを除いては一般的に分離化モードに類似しているため、以下では簡単のため分離化モードでの動作のみを説明する。第1段WDMは、複数のチャンネルをさまざまな波長に有するマルチチャンネル光信号を受信する。第1段WDMは、狭い通過帯域を利用することによってその光信号を複数の帯域に分離化する。各帯域は、少なくとも一つの他のチャンネルによって分離された複数のチャンネルを有する。さらに、第2段は、第1段WDMの狭い通過帯域フィルタより広い通過帯域を有する広い通過帯域フィルタで各帯域から個々のチャンネルを分離化するための、各帯域に割り当てられたWDMを有する。

【0014】本発明によって提供される新しい方法は大概以下のように要約することができる。分離化モードでは、第1に、複数のチャンネルをさまざまな波長に有する光信号が第1段WDMによって受信され、第1段WDMの第1通過帯域を利用することによって、複数のチャンネルから個々のチャンネルの帯域が分離化される。各帯域のチャンネルは少なくとも一つの他のチャンネルによって分離される。第2に、それらの帯域はそれぞれ第2段WDMに通信され、個々のチャンネルは、第1段WDMの通過帯域より広い通過帯域を有する第2段WDMによって各帯域から分離化される。

【0015】同様に、逆順をとれば、多重化モードに適用した場合の本発明の方法は以下になる。第1に、複数のチャンネルは第2段WDMの通過帯域により帯域ごとに多重化される。各帯域のチャンネルは少なくとも一つの他のチャンネルによって分離される。第2に、それらの複数の帯域は、第2段WDMの通過帯域より狭い通過帯域を有する第1段WDMを利用することによって、単一のマルチチャンネル信号を形成するように多重化される。

【0017】

【発明の実施の形態】本発明による一般化された櫛形分割システムを図1に参照符号10で示す。櫛形分割システム10は少なくとも二つの相互接続された連続する段12、14を有する。第1段12は1個の $1 \times M$ のWDM16を有する。WDM16は、 $NM$ 個のチャンネルを有する光信号を伝送する1個の入力／出力光バス17と、 $M$ 個の出力／入力光バス18を有する。WDM16は、狭い通過帯域を利用することによって、光バス17上の光信号を $M$ 個の帯域に（から）分離化（多重化）する。これらの $M$ 個の帯域はそれぞれ、少なくとも一つの別のチャンネルによって分離された複数のチャンネルを有する。実施例では、帯域は以下のように定義される。チャンネル1,  $M+1$ ,  $2M+1$ , ...,  $(N-1)M+1$ を有する第1帯域はブランチ（分枝） $B_1$ 上に伝送される。チ

ヤネル2,  $M+2$ ,  $2M+2$ , ...,  $(N-1)M+2$ を有する第2帯域はブランチ $B_2$ 上に伝送される。以上のパターンが、チャンネル $M$ ,  $2M$ ,  $3M$ , ...,  $NM$ を有する $M$ 番目のブランチ $B_M$ に達するまで続けられる。

【0018】第2段14は $M$ 個の並列な $1 \times N$ のWDM22を有する。各WDM22は、それぞれの光バス18上の $M$ 個の帯域のうちの一つを通信するように構成される。各WDM22は、対応する帯域から個々のチャンネルを分離化または多重化する。実施例では、 $M$ 個のWDM22が以下のような個々のチャンネル、すなわち、1,  $M+1$ , ...,  $(N-1)M+1$ ; 2,  $M+2$ , ...,  $(N-1)M+2$ ; ...;  $M$ ,  $2M$ , ...,  $NM$ , を分離化または多重化する。

【0019】注意すべき点であるが、図1の櫛形分割システム10は、 $N_1 N_2 \Delta$ を周期とする周期性を有することが可能である。ここで、 $N_1$ は第1段の分割比であり、 $N_2$ は第2段の分割比である。この場合、波長 $\lambda_1$ から $N_1 N_2 \Delta$ だけ離れた $\lambda'$ は $\lambda_1$ と同じ出力に行く。こうして、システム10は、必要に応じて、3段以上に構成することも可能である。例えば、 $1 \times M$ の第1段WDM16において $M$ を $NM$ に変えて図1のような $1 \times NM$ システム10全体として実装し、3段の $1 \times N^2 M$ システム10を形成することが可能である。

【0020】WDM16、22は任意の適当なWDMとすることが可能である。適当なWDMの例は、C. Dragone et al., "Integrated Optics  $N \times N$  Multiplexer on Silicon", IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 3, p. 896 (1989) (および米国特許第5,136,671号)に記載されている。もう一つの例として、WDM16、22は、米国特許出願第08/365,618号（発明者：Y. P. Li, et al., 出願日：1994年12月28日）に記載されているようなフーリエフィルタとして実装することも可能である。

【0021】光バス17、18、24は、光信号を伝送するための任意の適当な媒体とすることが可能であり、例えば光ファイバまたは導波路である。

【0022】櫛形分割システム10は、物理的にさまざまな方法で実装することが可能である。櫛形分割システム10のWDM16、22は、単一の集積回路、例えば、特定用途向け光集積回路（OASIC）上に設けることが可能である。この構成では、光バス18は集積回路光導波路とすることが可能である。WDMは、光ファイバネットワークのノードにおいてローカルに接続される個別の電子素子内に設けることも可能である。さらに、それらのWDMは、リモートに分離することができる。例えば、それらのWDMは、光ファイバネットワークの異なるノード（例えば $RN_1$ 、 $RN_2$ ）に配置され、分散ネットワークを形成するようにファイバケーブル18あるいは導波路18を通じて相互接続されることが可能である。

【0023】本発明の重要な特徴によれば、第2段WDM 22は、第1段WDM 16によって利用される通過帯域より広い通過帯域を利用するように構成され、第2段WDM 22におけるチャンネルの周期（すなわち、自由スペクトル範囲FSR(free spectral range)）は第1段WDM 16におけるものより大きい。

【0024】上記の構成の結果、システム10はいくつもの顕著な効果を有する。そのいくつかについて説明する。第1に、第2段WDM 22は第1段WDM 16より安価であるとともに物理的に小さい。第2に、システム10におけるチャンネルの分離およびブルーティングは、チャンネル間のクロストーク、すなわち、チャンネルの結合によって引き起こされる干渉を低減させる。特に、分離化モードでは、第1段12から生じるクロストークは第2段によって消去され、多重化モードでは、第2段14から生じるクロストークは第1段12で消去される。第3に、WDM通過帯域と、中央局内の送信器・受信器の波長との同期が非常に容易になる。その理由は、同期が必要なのは、中央局に近い単一の位置(RN1)にある第1段WDM 12のみであるからである。第4に、後段のWDMは、通過帯域およびFSRが非常に広いため、許容される製造誤差を大きくすることが可能であり、平坦な通過帯域および複屈折補償の必要がなく、中央局におけるフィードバック制御をせずに完全に環境温度変動を許容することが可能である。以上およびその他の効果は、以下の具体的実施例の説明でさらに明らかとなる。

【0025】

【実施例】

【櫛形分割システムの第1実施例】図2に、図1の一般化された櫛形分割システム10の第1実施例30を示し、図3に、図1の第1段および第2段のWDM 16、22の通過帯域を示す。図1に示したように、櫛形分割システム30は、 $1 \times 4$ デバイスであり、第1段12に1個の $1 \times 2$ WDM 16を有し、第2段14に2個の $1 \times 2$ WDM 22a、22bを有する。

【0026】第1段WDM 16は、4個のチャンネル $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$ を有する光バス17上の光信号と通信する。これらのチャンネルは図3の参照符号31で図示したように等間隔の周波数とするのが好ましい。間隔 $\Delta$ は例えば $\Delta = 400$ ギガヘルツ(GHz)である。第1段WDM 16は、 $\Delta$ に等しいチャンネル間隔を有し、周期（すなわち、自由スペクトル範囲FSR）は $M\Delta$ である。ただし、 $M=2$ は第1段の分割比である。こうして、分離化モードでは、第1段WDM 16は4個のチャンネルを2個の櫛に分割する（一方の出力に $\lambda_1$ 、 $\lambda_3$ 、他方の出力に $\lambda_2$ 、 $\lambda_4$ ）。これは図3で参照符号32で図示されている。

【0027】第2段WDM 22a、22bのチャンネル間隔は $M\Delta$ であり、FSRは $MN\Delta$ である。ただし、 $N=2$ は第2段の分割比である。第2段WDM 22bの伝送

スペクトルは第2段WDM 22aに対して $\Delta$ だけシフトされる。これにより、2個のWDM 22の通過帯域の中心が、図3において参照符号33、34で図示したように入力チャンネル $\lambda_1 \sim \lambda_4$ と常に整合するようになる。こうして、第2段WDM 22は、第1段WDM 16からの櫛をさらに個々のチャンネルに分割する。

【0028】【櫛形分割システムの第2実施例】図1の櫛形分割システム10の第2実施例を図4に全体的に参照符号40で示す。櫛形分割システム40は、一つのマルチチャンネル信号を32個のWDMチャンネルおよび32個のPS信号に分離化する $1 \times 32$ デバイスである。構造上は、櫛形分割システム40は、単一の $1 \times 8$ 結合WDM/PS機構16を有する第1段12と、それに相互接続され、8個の $1 \times 8$ WDM/PS機構22を有する第2段14とを有する。本質的には、結合WDM/PS機構16、22はそれぞれ、チャンネルの波長に応じて、WDMおよびPSの両方の作用をする。

【0029】説明のため、以下では、「粗WDM」（あるいはCWDM(coarse WDM)ともいう。）とは、もう一方のWDM（すなわち「密WDM」）より広い通過帯域および大きいFSRを有するWDMのことであり、「密WDM」（あるいはDWDM(dense WDM)ともいう。）とは、もう一方のWDM（すなわち「粗WDM」）より狭い通過帯域および小さいFSRを有するWDMのことであり、粗WDM（すなわちCWDM）は、PS帯域およびWDM帯域を分離または結合するために使用される。

【0030】少なくとも以下の理由により、PSをWDMに含めると有効である。第1に、いくつかの分散方式、例えば、高出力の線形化光ファイバ増幅器(LOFA(linearized optical fiber amplifier))を用いた放送用ケーブルテレビジョン(TV)信号はパワースプリッタを必要とする。第2に、まず帯域幅要求が少ないときに安価な低速の非波長選択性の送信器および受信器においてPSを使用し、帯域幅要求が増大したときにシステムを完全なWDMネットワークにアップグレードするのが経済的に実用的である。適当なWDM/PS機構16、22は米国特許第5,285,305号に記載されている。

【0031】櫛形分割システム40は、以下のようにデマルチプレクサとして使用される。粗WDM（図示せず）は中央局においてPS信号とWDMチャンネルを結合し、結合された光信号を光バス17を通じて図4のような第1段WDM/PS機構16に送る。好ましくは、第1段WDM/PS機構16は、一般に約480個までの住居単位(LU(living unit))のサービスエリアの中心付近に位置する第1リモートノード(RN1)に収容される。各RN1は480個までのLUにサービスするため、単一のRN1エンクロージャ内には一般に15個のWDM/PS機構16があり、シングルシース（パン



ドル) マルチファイバケーブルが中央局CO (central office) からRN1まで走る。8個のRN1出力はそれぞれ別々のペDESTAL (RN2) にサービスする。ペDESTAL (RN2) は、4個のLUにサービスする第2段WDM/PS機構22となる。

【0032】図5に、WDM/PS機構16 (図4) の実施例の詳細を示す。図5において、WDM/PS機構16は入力にCWDM42を有する。CWDM42は、波長帯域を二つに分割し、それぞれ一つの1×4DWM44および一つの1×4PS46に送る。DWM44の各出力はその後、CWDM42と同じスペクトル応答を有するもう一つのCWDM48を用いてPS46の出力と結合される。こうして、一方の波長帯域 (WDM帯域という。) に対して、WDM/PS機構16はWDMとして作用し、他方の波長帯域 (PS帯域という。) に対して、WDM/PS機構16は透過的にPSとして作用する。両方の波長帯域が入力光パス17に存在する場合、各出力光パス24は、PS帯域のパワーのうちの1/8と、WDM帯域の一つの波長チャンネルを得る。

【0033】診断目的のために予備ポート52を付加することが可能である。例えば、1×4の代わりに、2×5DWMおよび2×5PSを使用し、追加の出力は正規の出力のパワーの一部 (例えば1/10) を有するようにして、PS信号およびWDM信号への直接ローカルアクセスを行うことが可能である。

【0034】図6に、WDM/PS機構22 (図4) の実施例の詳細を示す。各WDM/PS機構22は、光パス55を通じてDWM56と相互接続され、光パス57を通じてPS58と相互接続されたCWDM54からなる。DWM56は光パス55上で4個のWDM信号の集合を受信し、フィルタリングしてこれらのチャンネルを分離し、各光パス24上の制限チャンネルを提供する。さらに、PS58は、光パス57上で4個の同報信号の集合を受信し、フィルタリングして同報信号を分離し、4個の光パス24のそれぞれの同報信号を提供する。

【0035】場合によっては、例えば光回線終端装置 (ONU) において、図6のWDM/PS機構22がPS帯域およびWDM帯域に対して別々の検出器に接続される場合、CWDM42 (図5) は不要となる。

【0036】櫛形分割システム40が作用する32個のWDMチャンネルに対する割当て計画の例を図7の参照符号61で示す。図7にはまた、参照符号62、63で、第1段WDM/PS機構16および第2段WDM/PS機構22のうちの一つのそれぞれの理想DWM通過帯域を示す。WDM帯域は1.5μm付近とすることが好ましく、PS帯域は1.3μm付近とすることが好ましいが、これらは相互に交換することも可能であり、他の波長とすることも可能である。チャンネル間隔は約400GHz (波長で約3.2nm) である。第1段WDM/PS機構16 (図4) の通過帯域間隔は約400GHz

でFSRは約8×400GHzであり、複屈折補正は不要であり、わずかな通過帯域平坦化しか必要としない。第2段DWM56 (図6) の通過帯域間隔は約8×400GHzでFSRは約32×400GHzであり、通過帯域平坦化やフィードバック制御は不要である。第2段DWM56は通過帯域間隔が大きく分割が少数であるため、フーリエ変換ベースの導波路フィルタ (FF) をWGRの代わりに使用することが好ましい。

【0037】32個のチャンネルは1.48μmから1.58μmまでの全部で約100nmの帯域幅を占有する。この波長範囲の外側の波長、すなわち、1.43μmから1.48μmまでおよび1.58μmから1.63μmまでの波長は、各LUにもう一つのチャンネルを分配するために、あるいは、試験目的のためにオプションとして使用可能である。各LUに二つのチャンネルを分配する場合、各ONUにおいてその二つのチャンネルを分離するためには簡単なCWDM (例えば周知のマッハ・ツェンダー干渉計) が使用可能である。予備のチャンネルを試験のために使用する場合、第2段DWM56 (図6) のFSRは約64×400GHzまで増大させることが可能であり、それにより、試験信号がONUに到達するのを防ぐことができる。

【0038】櫛形分割システム40 (図4) は、チャンネル間のクロストークを大幅に低減させる。この点に関して、図8に、参照符号71として、32個のチャンネルおよび1個の試験チャンネルがすべてアクティブであるが無相関であり、同じパワーレベルを有するときの、第1段WDM/PS機構16の入力におけるパワースペクトルを示す。図8にはさらに、参照符号72、73として、それぞれ、第1段および第2段の出力18、24 (図4) のスペクトルも示されている。さらに、図8において、破線領域65は、第1段WDM/PS機構16 (図4) の理想通過帯域を表し、破線領域66は、第2段WDM/PS機構22 (図4) の理想通過帯域を表す。

【0039】それぞれ $\delta_1$ および $\delta_2$ というクロストークレベルを有する2段のWDMが櫛形分割システム40において縦続接続されると、第1段からのクロストーク信号 (相対強度 $\delta_1$ ) は、第2段において、通過チャンネルに隣接するチャンネルを除いては、 $\delta_2$ 倍に縮小する。第2段WDMの通過帯域の端のチャンネルのクロストーク縮小は約0.5倍である。こうして、チャンネル9を通る最終出力において、クロストーク信号は、相対強度 $\delta_1$ のチャンネル8および10、相対強度 $\delta_1/2$ のチャンネル7および11、相対強度 $\delta_2$ のチャンネル1、17、25および試験チャンネル、ならびに、相対強度 $\delta_1\delta_2$ のチャンネル2~6、12~16、18~24、および26~32である。従って、累積したクロストークは $3\delta_1 + 4\delta_2 + 24\delta_1\delta_2$ となる。現在の導波路技術で実現可能な現実的なクロストークレベルは、 $\delta_1 \sim 0.005$ および $\delta_2 \sim 0.0025$  (すなわち、-23dBおよび-2



6 dB) であり、累積クロストークは $\sim 0.025$  すなわち $-16$  dBとなる。注意すべき点であるが、単一段の $1 \times 32$  WDMを使用した場合、累積クロストークレベルは $31 \delta_1 \sim 0.15$  ( $-7.5$  dB) となる。従って、多段櫛形分割方式は効果的なクロストーク低減を実現し、これは実用化の重要な要素となる。64個のチャネルがアクティブである場合、累積クロストークは3 dBだけ劣化することになるが、これでもなお、ディジタルビデオ伝送に要求されるクロストークレベルよりは低い。

【0040】

【発明の効果】本発明はさまざまな効果を有するが、例としてそのうちのいくつかについて以下にまとめる。

【0041】本発明の櫛形分割システムの効果は、費用効率がよいことである。狭い通過帯域を有する高価なWDMは第1段に利用し、第2段以下の後続段には安価なWDMを利用することが可能である。

【0042】本発明の櫛形分割システムのもう一つの効果は、チャネル間の累積クロストークが効果的に縮小されることである。実際、発明者の測定によれば、32チャネルのシステムで約8デシベル(dB)のクロストークの低減があった。

【0043】本発明の櫛形分割システムのもう一つの効果は、温度ゆらぎの影響をほとんど受けないことであり、特に、第1段および第2段が異なる物理的ノード位置にあるような分散ネットワークに実装した場合に有効である。

【0044】本発明の櫛形分割システムのもう一つの効果は、例えば光時間領域反射計(OTDR(optical time domain reflectometry))を用いて個々の光パスの試験を行うことができることである。

【0045】本発明の櫛形分割システムのもう一つの効果は、構造が単純であり、大量に実装および製造することが容易であり、動作の信頼性が高いことである。

【0046】本発明の櫛形分割システムのもう一つの効果は、単一の集積回路(IC)上に実装することも、ICの段として実装することも可能であることである。

【0047】本発明の櫛形分割システムのもう一つの効果は、完全に受動的な要素とともに実装してPONを作成することが可能であることである。

【0048】本発明の櫛形分割システムのもう一つの効果は、WDMおよびパワー分割機構の両方を有するデバイスとともに実装することができることである。このようなデバイスの例は米国特許第5,285,305号に記載されている。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の櫛形分割システムおよび方法を説明するブロック図である。このシステムは、第1段に1個の $1 \times M$  (1個の光パス入/出、M個の光パス出/入)のWDMを有し、第2段にM個の $1 \times N$ のWDMを有し、NM個のチャネルを有する。

【図2】図1の櫛形分割システムの第1実施例のブロック図である。この第1実施例は2個の段を有し、第1段に1個の $1 \times 2$  WDMを有し、第2段に2個の $1 \times 2$  WDMを有し、4個のチャネルを有する。

10 【図3】図2の特定の櫛形分割システムにおけるチャネル通過帯域のグラフの図である。

【図4】図1の櫛形分割システムの第2実施例のブロック図である。この第2実施例は2個の段を有し、第1段に1個の $1 \times 8$  WDM/PS機構を有し、第2段に8個の $1 \times 4$  WDM/PS機構を有し、32個のWDMチャネルおよび32個のPSチャネルを有する。

【図5】図4の第1段のWDM/PS機構のブロック図である。

20 【図6】図4の第2段のWDM/PS機構のブロック図である。

【図7】図4の特定の櫛形分割システムにおけるチャネル通過帯域のグラフの図である。

【図8】図4の特定の櫛形分割システムにおける、波長スペクトルに対するチャネル分離、フィルタリング、およびクロストークのグラフの図である。

【符号の説明】

10 櫛形分割システム

12 第1段

14 第2段

16  $1 \times M$  WDM

17 入力/出力光パス

18 出力/入力光パス

22  $1 \times N$  WDM

24 光パス

30 櫛形分割システム

40 櫛形分割システム

42 CWDM

44  $1 \times 4$  DWDM

46  $1 \times 4$  PS

40 48 CWDM

52 予備ポート

54 CWDM

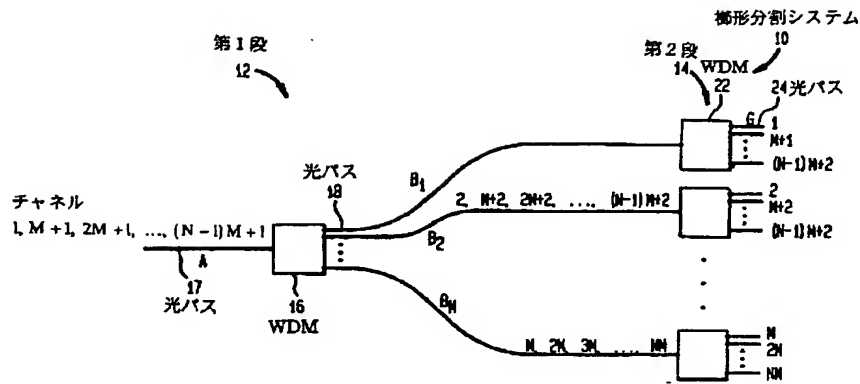
55 光パス

56 DWDM

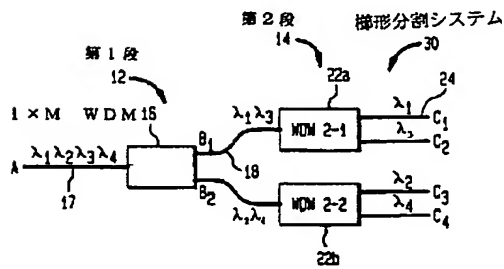
57 光パス

58 PS

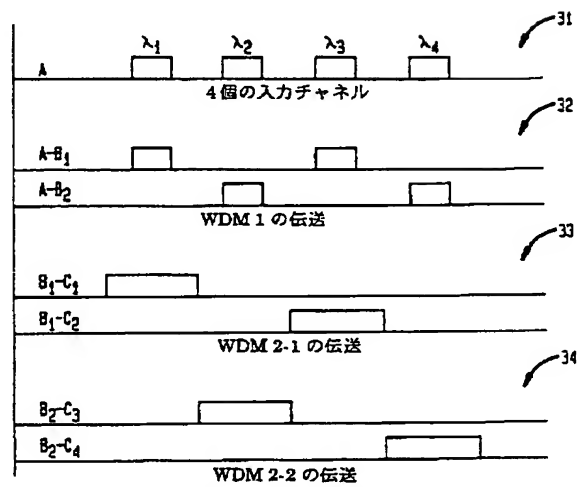
【図 1】



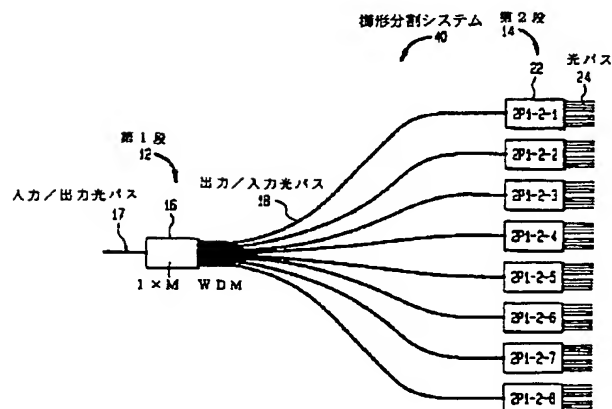
【図 2】



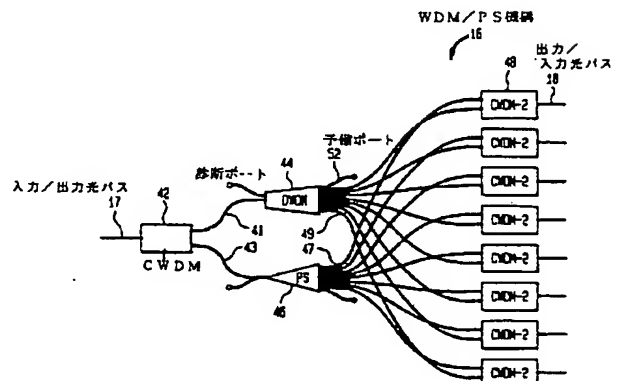
【図 3】



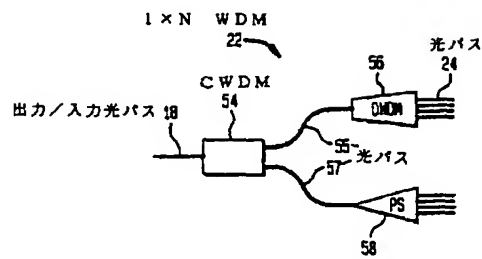
【図 4】



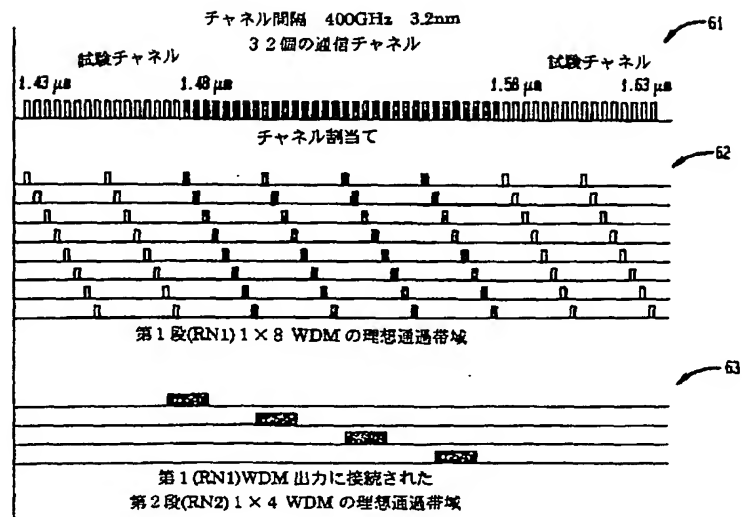
【図 5】



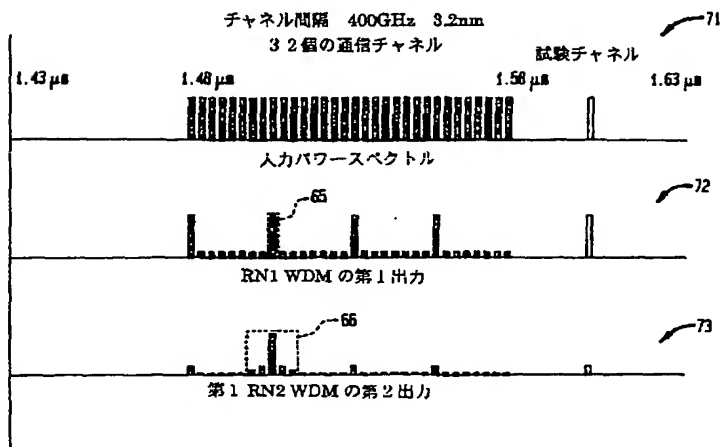
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 ユアン ビー. リー  
アメリカ合衆国, 30155 ジョージア, ダ  
ルス, フェアフォード レイン 410